

УДК 551.21

## ТЕМПЕРАТУРА И СОСТАВ ГАЗА ФУМАРОЛ ВУЛКАНА АВАЧИНСКИЙ (КАМЧАТКА) В 2013–2016 гг.

© 2017 Н.А. Малик<sup>1</sup>, М.Е. Зеленский<sup>2</sup>, В.М. Округин<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, 683006;  
e-mail: malik@kscnet.ru

<sup>2</sup>Институт экспериментальной минералогии РАН, Черноголовка

Представлены данные режимных наблюдений за температурой и составом фумарольных газов вулкана Авачинский в 2013–16 гг. Показана динамика температур высокотемпературных фумарол за этот период — Западной и расположенных на Восточном поле, приуроченных к трещине, возникшей в лавовой «пробке» в результате слабой эксплозивной активизации вулкана осенью 2001 г. На Западной фумароле зарегистрирована температура 818°C — самая высокая из когда-либо измеренных на вулкане Авачинский. Изучен состав газов режимной фумаролы Восточного поля и его вариации во времени. Проведен сравнительный анализ с данными предшествующих наблюдений за газами вулкана Авачинский и других активных вулканов Камчатки, а также со средними значениями для вулканов зон субдукции.

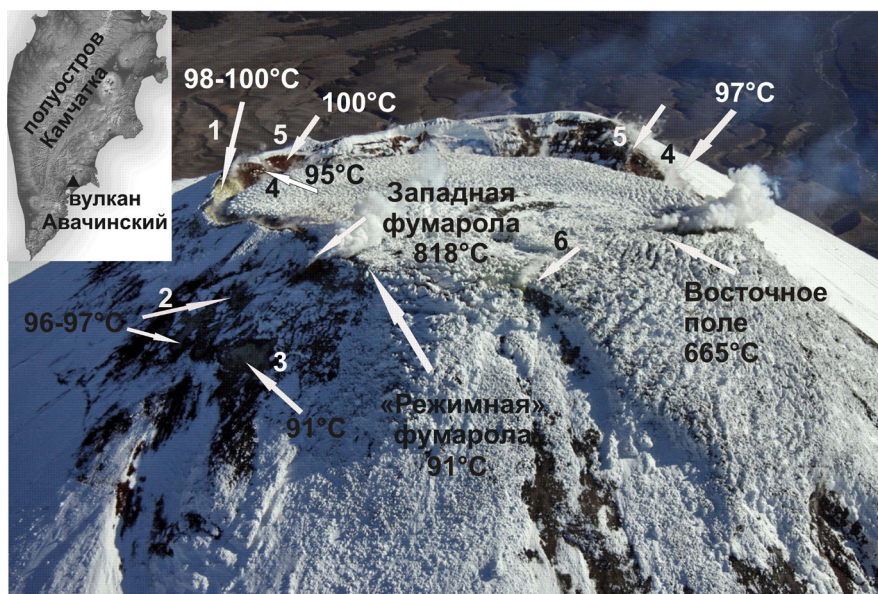
*Ключевые слова:* вулкан Авачинский, фумарола, вулканический газ, температура, состав газа.

### ВВЕДЕНИЕ

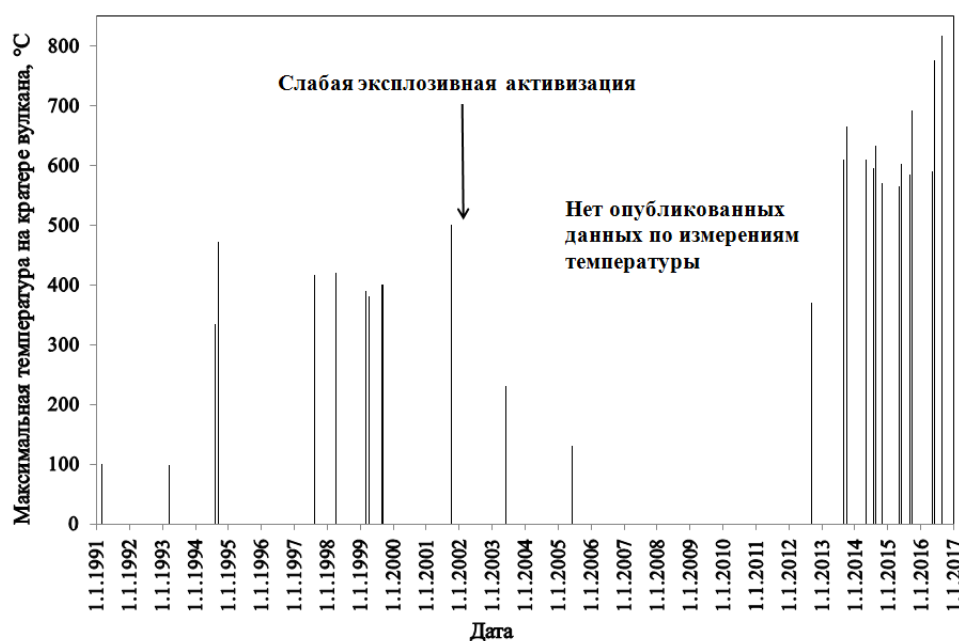
Авачинский вулкан (2751 м) — один из активных вулканов Камчатки, расположенный в непосредственной близости от городов Петропавловск-Камчатский (23 км) и Елизово (30 км). В историческое время извержения отмечены в 1737, 1772, 1779, 1827, 1851–55, 1878, 1881, 1894–95, 1901, 1909, 1926–27, 1938, 1945, 1991 гг. (Мелекесцев и др., 1994). В период между извержениями вулкан характеризуется умеренной фумарольной активностью. В результате последнего эффузивно-эксплозивного извержения 1991 г. лава заполнила кратер вулкана, образовав так называемую «пробку». В октябре 2001 г. после слабой эксплозивной активизации в лавовой «пробке» появилась система субпараллельных трещин (Мелекесцев и др., 2002). К самой крупной из них приурочены две группы высокотемпературных ( $\geq 450^\circ\text{C}$ ) газовых выходов — Западная фумарола и Восточное поле (рис. 1). Низкотемпературные ( $\leq 100^\circ\text{C}$ ) выходы газов и термальные площадки расположены по периферии и на участках соприкосновения лавы 1991 г. со стенками кратера. Первое детальное описание расположения термопроявлений после извержения 1991 г. приведено в работе (Дрознин, Дубровская, 2006)

в сравнении с предшествующим извержению, наиболее подробно описанным И.Т. Кирсановым с соавторами (1964).

После работ, посвященных последнему извержению 1991 г. (Дрознин, Муравьев, 1994; Иванов и др., 1995), исследованиям кратера вулкана, особенно режимным, уделялось мало внимания (рис. 2). Опубликовано две работы, в которых приводятся описания фумарольных площадок и состава газов за период 1993–94 гг. (Taran et al., 1997) и 1994–99 гг. (Серафимова и др., 2002). В конспективной форме охарактеризован газо-пепловый взрыв осенью 2001 г. (Мелекесцев и др., 2002) и фумарольная активность в 2004–05 гг. по данным дистанционных измерений (Дрознин, Дубровская, 2006). И только в последние три года появились публикации, в которых изложены результаты минералого-геохимических исследований продуктов реакций в системе газ-порода (возгонов), отложений в экспериментальных кварцевых трубках, помещенных в устьевые части высокотемпературных газовых струй (сублиматы), выполненных с применением новейших физико-химических методов. Диагностировано большое количество ранее неизвестных для Авачинского вулкана минералов и соединений, включая йодиды таллия, сульфиды



**Рис. 1.** Вершина вулкана Авачинский с отмеченными фумарольными проявлениями и их максимальными температурами, измеренными за 2013–16 гг. Вид с юго-запада. Фото А.В. Сокоренко, 28.09.13. 1 — низкотемпературное фумарольное поле на северо-западном гребне кратера; 2 — низкотемпературные фумаролы и участок «слабых газовых выходов», приуроченные к нижней западной части трещины 2001 г.; 3 — паровые струи из трещин лавового потока; 4 — низкотемпературные фумаролы на контакте лавовой пробки со стенками кратера; 5 — прогретые площадки; 6 — труднодоступная фумарольная площадка.



**Рис. 2.** Максимальные температуры на кратере, зарегистрированные на вулкане Авачинский после извержения 1991 г.

и кислородсодержащие фазы рения (Округин и др., 2016а, 2016б; Плутахина, Малик, 2014, 2015).

Известно, что составы и температуры фумарольных газов отражают процессы, происходящие в магматическом очаге и подводящем канале. Мониторинг этих параметров позволяет получить информацию о состоянии вулкана и его возможной активизации. При этом наибольший интерес представляют высокотемпературные газы ( $\geq 450^\circ\text{C}$ ) как наименее

измененные и близкие к первичным магматическим (Aïuppa et al., 2012). Если учесть, что последнее извержение вулкана Авачинский в 1991 г. началось без зарегистрированной предваряющей сейсмической активности (Мелекесцев и др., 1994), то наблюдения за изменениями состояния его фумарольных полей и состава газа являются важным дополнительным методом мониторинга и прогноза вулканической активности (Меняйлов, 1976). Известно, что

перед извержениями 1938 и 1945 гг. отмечалось усиление фумарольной деятельности, появление новых фумарол, образование провала на дне кратера в 1937 г., парогазовые выбросы (Мелекесцев и др., 1994).

В настоящей работе приводятся данные о состоянии фумарольных площадок на вершине вулкана, температурах, изотопных и химических составах высокотемпературных фумарольных газов, полученных в 2013–16 гг., и проводится сравнение с результатами предыдущих исследований.

### МЕТОДЫ ОТБОРА И АНАЛИЗА ПРОБ

Авторами выполнялись режимные наблюдения за температурой и составом газа фумарольных площадок привершинной части вулкана (табл. 1). Температура всех доступных выходов измерялась ХА-термопарой, труднодоступных — пирометром TemPro-1200.

Для отбора газа в фумарольный выход устанавливали кварцевую трубку диаметром 20–25 мм. В нее вставляли более тонкую кварцевую трубку, которая соединялась при помощи шланга из силиконовой резины с вакуумированными ампулами Гиггенбаха или с барботерами со щелочным поглотителем (4N КОН или NaOH). Для определения количества H<sub>2</sub>S отбирались пробы с добавлением 25% Cd(CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub>. Отбор продолжался 15–20 минут до значительного ослабления потока газа.

**Таблица 1.** Температура фумарольных газов вулкана Авачинский в 2012–16 гг., °С.

| Дата       | Западная фумарола | Восточное поле, фумарола № 1 | Восточное поле, фумарола № 2 |
|------------|-------------------|------------------------------|------------------------------|
| 05.09.2012 | 370               |                              |                              |
| 18.08.2013 |                   | 610                          |                              |
| 28.09.2013 | 415               | 626                          | 665/610                      |
| 16.04.2014 | 470               |                              |                              |
| 29.04.2014 |                   | 610                          |                              |
| 18.07.2014 |                   | 595                          |                              |
| 17.08.2014 | 555               | 605                          | 633/610                      |
| 20.10.2014 |                   | 570                          |                              |
| 27.04.2015 | 566               |                              |                              |
| 19.05.2015 |                   | 602                          |                              |
| 02.09.2015 |                   | 584                          |                              |
| 16.09.2015 | 693               | 582                          | 615                          |
| 28.04.2016 |                   | 591                          |                              |
| 21.05.2016 | 777/630           |                              |                              |
| 22.08.2016 | 818/670           | 588                          | 628                          |

Примечание. Курсивом отмечены температуры, измеренные пирометром TemPro-1200, остальные — термопарой.

Для отбора конденсата газ прокачивали через два последовательно соединенных барботера, которые охлаждались снежно-водяной смесью. Затем содержимое барботеров объединялось.

В лаборатории постмагматических процессов Института вулканологии и сейсмологии (ИВиС) ДВО РАН непоглощенные газы (H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, Ar, CO, CH<sub>4</sub> и углеводороды C<sub>2</sub>-C<sub>4</sub> из ампул Гиггенбаха и барботеров изучались методом газовой хроматографии. Содержание кислорода (показатель контаминации пробы воздухом) в непоглощенных газах составляло 0.6–3.0 об. %, реже 5 и 10% (28.09.13 и 20.10.14). Поглощенные в щелочи газы (SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, CO<sub>2</sub>, HCl, HF) анализировали методами мокрой химии в Аналитическом центре (АЦ) ИВиС по методике (Никитина и др., 1989). Концентрации CO<sub>2</sub> определяли в щелочных зарядках без ацетата кадмия одним титрованием по методу Гиггенбаха (Giggenbach, 1975). В пробах без ацетата кадмия определяли суммарную серу в виде SO<sub>2</sub>. Количество воды в пробах рассчитывали по разности привеса и измеренных компонентов.

Изотопный состав воды газового конденсата изучался в лабораториях организаций (National Autonomous University of Mexico, Мексика; Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, Москва; Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, Владивосток). Содержание микроэлементов в конденсатах газов измерялось методами ICP-MS и ICP-AES в Аналитическом сертификационном испытательном центре Института проблем технологии микроэлектроники и особо чистых материалов (АСИЦ ИПТМ) РАН, г. Черноголовка.

Пробы газа и конденсата отбирались из фумаролы № 1 Восточного поля с температурой 570–626°С в августе и сентябре 2013 г., в апреле, июле, августе и октябре 2014 г., в мае и дважды в сентябре 2015 г., в апреле и августе 2016 г., а также один раз — из фумаролы с температурой 500°С в ~7 м к северу от выхода № 1, у края поля в сентябре 2015 г. (табл. 2). Опробование низкотемпературных (98–100°С) фумарол на северо-западном гребне кратера проводилось в апреле 2015 г. и мае 2016 г. (табл. 3). Как правило, за один раз отбирали по четыре пробы газа, для получения более точного результата, и около 100 мл конденсата, достаточного для всех видов анализа.

### ФУМАРОЛЬНЫЕ ПЛОЩАДКИ ВУЛКАНА АВАЧИНСКИЙ И ИХ ТЕМПЕРАТУРЫ

В 2012–16 гг. были измерены температуры большинства газовых выходов и прогретых площадок (рис. 1, 3).

Таблица 2. Химический состав высокотемпературных фумарольных газов вулкана Авачинский, ммоль/моль.

| №  | Дата                 | Т, °С | H <sub>2</sub> O | CO <sub>2</sub> | H <sub>2</sub> S | SO <sub>2</sub> | HCl  | HF    | CO     | CH <sub>4</sub> | H <sub>2</sub> | N <sub>2</sub> | Ar      | He                     | S/Cl           |
|----|----------------------|-------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|------|-------|--------|-----------------|----------------|----------------|---------|------------------------|----------------|
| 1  | 02.08.1994           | 335   | 972              | 7.5             | 2.4              | 13.5            | 1.7  | 0.050 | 0.0011 | 0.002           | 0.32           | 0.85           | 0.0011  | 72 · 10 <sup>-5</sup>  | 9.4            |
| 2  | 12.09.1994           | 473   | 945              | 22.6            | 3.4              | 23.7            | 3.6  | 0.030 | 0.0024 | 0.003           | 0.5            | 1.30           | 0.0087  | 5 · 10 <sup>-5</sup>   | 7.5            |
| 3  | 07.08.1997           | 416   | 971              | 9.8             | 5.7              | 11.4            | 2.2  | -     | 0.0015 | 0.0018          | 0.11           | 0.14           | 0.00084 | н.п.о.                 | 7.8            |
| 4  | 04.04.1998           | 420   | 964              | 9.3             | 3.8              | 19.8            | 3.13 | -     | 0.0016 | 0.00064         | 0.23           | 0.14           | 0.00028 | н.п.о.                 | 7.5            |
| 5  | 01.03.1999           | 390   | 960              | 8.9             | 2.7              | 24.8            | 2.98 | -     | 0.0015 | 0.00029         | 0.39           | 0.20           | 0.00079 | н.п.о.                 | 9.2            |
| 6  | 08.04.1999           | 381   | 973              | 6.3             | 2.3              | 15.7            | 2.38 | -     | 0.0009 | 0.0018          | 0.21           | 0.10           | 0.00060 | н.п.о.                 | 7.6            |
| 7  | 30.08.1999           | 400   | 961              | 12.7            | 3.6              | 19.7            | 2.41 | -     | 0.0012 | 0.00026         | 0.21           | 0.17           | 0.00031 | 1 · 10 <sup>-5</sup>   | 9.7            |
| 8  | 08.09.1999           | 401   | 960              | 11.1            | 5.5              | 20.8            | 2.1  | 0.283 | 0.0017 | 0.00065         | 0.24           | 0.34           | 0.00289 | н.п.о.                 | 12.5           |
| 9  | 04.10.2001           | 500   | 920              | 36.7            | 5.0              | 34              | 3.38 | -     | 0.0147 | 0.00008         | 0.38           | 0.83           | 0.00018 | н.п.о.                 | 11.5           |
| 10 | 18.08.2013           | 610   | 898              | 75.4            | 4.1              | 17.3            | 2.1  | 0.2   | 0.16   | 0.0005          | 1.47           | 0.85           | 0.012   | н.п.о.                 | 10.3           |
| 11 | 28.09.2013           | 626   | 899              | 74.1            | 4.6              | 17.6            | 1.8  | 0.13  | 0.18   | 0.00019         | 1.66           | 0.51           | 0.02    | н.п.о.                 | 12.5           |
| 12 | 29.04.2014           | 608   | 944              | 28.1            | 4.47             | 19.2            | 1.70 | 0.124 | 0.074  | 0.012           | 2.02           | 0.31           | 0.00072 | н.п.о.                 | 13.9           |
| 13 | 18.07.2014           | 595   | 975              | 15.10           | 3.00             | 3.5             | 0.96 | 0.140 | 0.048  | 0.010           | 1.73           | 0.21           | 0.00072 | н.п.о.                 | 7              |
| 14 | 17.08.2014           | 605   | 963              | 16.40           | 5.40             | 10.8            | 1.76 | 0.130 | 0.038  | 0.013           | 1.92           | 0.24           | 0.00077 | н.п.о.                 | 9.2            |
| 15 | 20.10.2014           | 570   | 976              | 11.30           | 2.11             | 5.9             | 2.15 | 0.121 | 0.032  | 0.009           | 2.40           | 0.174          | н.п.о.  | н.п.о.                 | 3.7            |
| 16 | 19.05.2015           | 602   | 957              | 18.7            | 3.5              | 16.8            | 1.54 | 0.122 | 0.059  | 0.008           | 2.34           | 0.27           | 4.8E-05 | н.п.о.                 | 12             |
| 17 | 2.09.2015            | 584   | 986              | 5.4             | 2.06             | 3.97            | 1.03 | 0.07  | 0.02   | 0.0063          | 1.6            | 0.085          | 0.00053 | 6 · 10 <sup>-5</sup>   | 6.3            |
| 18 | 16.09.2015           | 584   | 985              | 5.13            | 1.42             | 5.11            | 1.63 | 0.098 | 0.022  | 0.0088          | 1.47           | 0.094          | 0.00084 | 5.3 · 10 <sup>-5</sup> | 4.01           |
| 19 | 16.09.2015           | 500   | 982              | 6.76            | 1.97             | 7.69            | 1.04 | 0.074 | 0.015  | 0.0079          | 0.72           | 0.140          | 0.0013  | 1.5 · 10 <sup>-5</sup> | 9.28           |
| 20 | 28.04.2016           | 590   | 978              | 6.30            | 2.47             | 9.3             | 2.24 | -     | 0.030  | 0.007           | 1.62           | 0.18           | 0.00080 | н.п.о.                 | 5.3            |
|    | Расход, т/<br>сутки* |       | 5060             | 310             | 32               | 200             | 17.5 | 0.71  | 0.51   | 0.062           | 1.0            | 2.3            | 0.044   | 5 · 10 <sup>-5</sup>   | Всего:<br>5624 |

Примечание. Прочерк — компонент не определялся, н.п.о. — ниже порога определения. Концентрации N<sub>2</sub> и Ar скорректированы с учетом загрязнения воздухом. Пробы 1–9 отобраны из «Режимной» фумаролы на юго-западной кромке кратера; 10–18, 20 — из фумаролы № 1 Восточного поля; 19 — из фумаролы в ~7 м к северному краю поля от фумаролы № 1. Анализ состава газов выполнен в ИВиС ДВО РАН В.И. Гусевой (непоглощенные газы) и Л.Н. Гарцевой, М.А. Назаровой (поглощенные газы). Пробы 1, 2 — по (Taran et al., 1997), 3–8 — по (Серафимова и др., 2002). \*Для расчета расхода молярные отношения были переведены в массовые.

Таблица 3. Химический состав низкотемпературных фумарольных газов северо-западной части кратера вулкана Авачинский, ммоль/моль.

| № | Дата       | Т, °С | H <sub>2</sub> O | CO <sub>2</sub> | H <sub>2</sub> S | SO <sub>2</sub> | HCl    | HF     | CO      | CH <sub>4</sub> | H <sub>2</sub> | N <sub>2</sub> | Ar      | He       |
|---|------------|-------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|--------|--------|---------|-----------------|----------------|----------------|---------|----------|
| 1 | 23.02.1991 | 101   | 880              | 89.5            | 1.3              | 26              | 0.013  | 0.04   | 0.00011 | 0.3             | 0.03           | 2.1            | 0.0014  | 0.0006   |
| 2 | 20.03.1993 | 98    | 878              | 95.1            | 9                | 18.2            | 0.06   | 0.02   | 0.00005 | 0.12            | 0.033          | 0.1            | 0.00007 | 0.00003  |
| 3 | 10.04.1994 | 102   | 888              | 87.8            | 5.4              | 18              | 0.012  | 0.03   | 0.00005 | 0.13            | 0.027          | 0.48           | 0.00043 | 0.0001   |
| 4 | 27.04.2015 | 100   | 972              | 22.2            | 3                | 2.65            | 0.032  | 0.0016 | 0.00041 | 0.13            | 0.12           | 0.32           | 0.00025 | 0.00004  |
| 5 | 21.05.2016 | 100   | 980              | 14.20           | 2.02             | 2.4             | н.п.о. | -      | 0.0017  | 0.16            | 0.22           | 0.60           | 0.0018  | 0.000028 |

Примечание. Прочерк — компонент не определялся, н.п.о. — ниже порога определения. Концентрации N<sub>2</sub> и Ar скорректированы с учетом загрязнения воздухом. 1–3 — по (Taran et al., 1997).

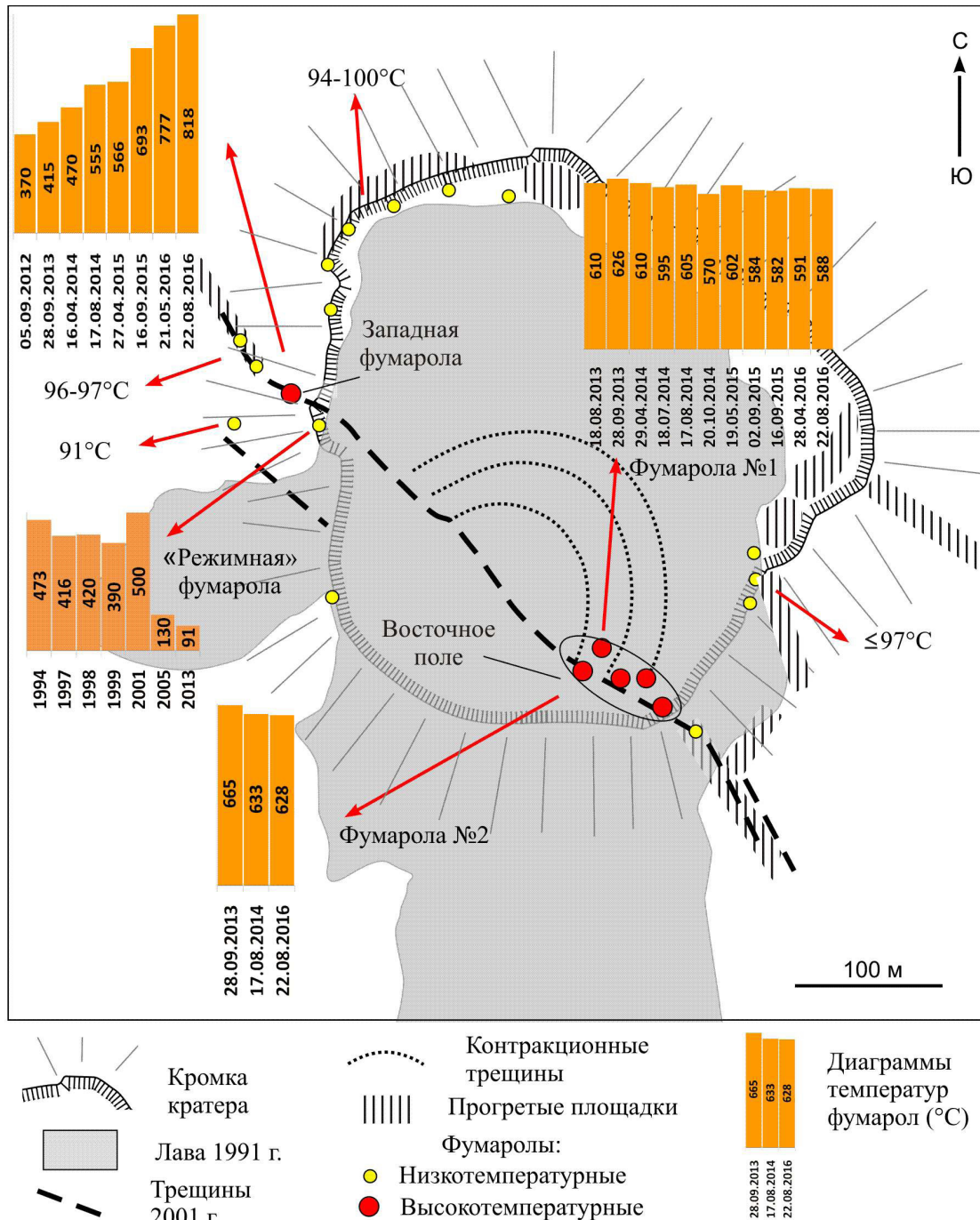


Рис. 3. Схема кратера вулкана Авачинский.

**Западная фумарола.** Западная фумарола представляет собой мощный выход газа из глубокой трещины на западном склоне конуса, являющейся продолжением трещины-рва, образовавшейся в лавовой «пробке» при взрыве осенью 2001 г. (рис. 3, 4). В 5–10 м ниже кромки кратера наблюдается наиболее интенсивное высокотемпературное истечение газа. Трещина шириной 0.5 м (в верхней части до 1.0–1.5 м) уходит вглубь в виде флексуобразных изгибов и просматривается на глубину 10–15 м<sup>1</sup>. Из-за ее труднодоступ-

ности и высокой скорости потока газа, измерение температуры до мая 2016 г. удавалось проводить только с помощью пирометра TemPro-1200 (табл. 1). При этом измеренные величины температур в 2012–14 гг. во многом зависели от места и условий проведения наблюдений (безопасного расстояния и угла измерения, интенсивности парообразования, затрудняющих измерения пирометром). В апреле 2014 г. с наиболее близкого расстояния и при отсутствии парообразования была зафиксирована температура 470°C, 17 августа 2014 г. в подобных условиях — 555°C, 27 апреля 2015 г. — 566°C. Тогда же привлек наше внимание

<sup>1</sup>[http://www.kscnet.ru/ivs/volcanoes/inform\\_messages/2014/AvachKor042014/index.html](http://www.kscnet.ru/ivs/volcanoes/inform_messages/2014/AvachKor042014/index.html)



Рис. 4. Вид трещины 2001 г. на западном склоне вулкана Авачинский 17.08.2014 г. Фото Н.А. Малик.

значительно усилившийся аэродинамический шум струи, свидетельствующий об увеличении скорости истечения газ, а также увеличение ширины трещины в месте выхода высокотемпературной струи, возможно, обусловленное обвалом стенок. Во время посещения кратера 2 сентября 2015 г. также слышался сильный шум, но провести режимные наблюдения из-за высокой загазованности не удалось. 16 сентября 2015 г. максимально измеренная пирометром температура с расстояния нескольких метров доходила до  $693^{\circ}\text{C}$ , то есть  $\sim$  на  $150^{\circ}\text{C}$  выше, чем измеренная в сходных условиях в апреле 2015 г. и августе 2014 г.<sup>2</sup> При этом было подтверждено, что произошел обвал стенок трещины, предположительно, в период между августом 2014 г. и апрелем 2015 г., в результате чего выход высокотемпературной струи был завален. Поэтому газ выходил не единой мощной струей, а через отдельные трещины между обломками породы. При этом длина участка с температурой более  $500^{\circ}\text{C}$  увеличилась с 1–2 м до 5–7 м. Отмечено полное исчезновение гула, создаваемого выходящим газом.

21 мая 2016 г. впервые за последние годы ( $\geq 10$  лет) удалось измерить температуру Западной фумаролы<sup>3</sup> термопарой, максимальная вели-

чина которой составила  $777^{\circ}\text{C}$ . Участок вдоль трещины, на котором удалось зафиксировать температуру  $>700^{\circ}\text{C}$ , протягивался на 3–4 м. 22 августа 2016 г. температура измеренная той же аппаратурой и в том же месте достигла  $818^{\circ}\text{C}$ . Это самая высокая температура фумарольных газов зафиксированная за всю историю наблюдений за вулканом Авачинский. Было замечено, что произошли очередные обвалы стенок трещины<sup>4</sup>. В месте выхода газа в обвалившейся породе наблюдалось слабо различимое при дневном свете свечение. Свечение в трещинах на дне кратера наблюдалось летом 1961 г. (Зубин и др., 1964) и в 1964 г. (устное сообщение В.А. Дроздина). По данным (Горельчик и др., 1972) температура фумарольных газов на дне кратера в 1963–65 гг. доходила до  $790$ – $800^{\circ}\text{C}$ , хотя в работе (Федотов и др., 1977) указана максимальная температура  $700^{\circ}\text{C}$ , при этом в работах не указана методика измерений.

Выше и ниже по трещине в период наших наблюдений температура быстро падала. Примерно в 30 м от места выхода газовой струи вниз по трещине, уже слабо выраженной в рельефе, опять начинался прогрев грунта, а еще в 20 м ниже находились парогазовые выходы (рис. 1, т. 2; рис. 3, 4): один крупный колодцеобразный и рядом несколько небольших, инкрустированных

<sup>2</sup>[http://www.kscnet.ru/ivs/volcanoes/inform\\_messages/2015/Avachinsky/index.html](http://www.kscnet.ru/ivs/volcanoes/inform_messages/2015/Avachinsky/index.html)

<sup>3</sup>[http://www.kscnet.ru/ivs/volcanoes/inform\\_messages/2016/Avachinsky/index.html](http://www.kscnet.ru/ivs/volcanoes/inform_messages/2016/Avachinsky/index.html)

<sup>4</sup>[http://www.kscnet.ru/ivs/volcanoes/inform\\_messages/2016/Avachinsky\\_avg/index.html](http://www.kscnet.ru/ivs/volcanoes/inform_messages/2016/Avachinsky_avg/index.html)

желтой серой, температура которых не превышала 96–97°C. Вниз до высоты ~2665 м н.у.м. (рис. 1, т. 2) отмечались скопления серы и небольшие выходы газа ( $T < 97^\circ\text{C}$ ). Полоса грунта, покрытая бело-желтыми возгонами протягивалась вниз до отметки ~2650 м н.у.м. Температура 96°C на глубине 10–15 см отмечалась по всей длине (~120 м) прогретого участка (по-видимому, трассирующего трещину, появившуюся в 2001 г.).

**Восточное фумарольное поле.** В августе-сентябре 2013 г. были обнаружены и обследованы высокотемпературные (до 665°C) газовые выходы, находящиеся на Восточном фумарольном поле, вытянутом вдоль трещины-рва, в юго-восточной части лавовой «пробки» (Малик, Зеленский, 2014). Фумарольная площадка, размером ~55×30 м, представляла собой скопление выходов газа с температурами от 300 до 655°C, обрамленных инкрустациями. Максимальная температура (665°C) была измерена в ее южной части (рис. 3, фумарола № 2; табл. 1), где из-под обломков черного цвета выходили наиболее мощные струи газа. Диаметр фумаролы около 1–1.5 м. В 20 м от нее, у северного края поля, была найдена напорная фумарола, пригодная для отбора газа, выбранная в качестве режимной (рис. 5). Ее температура менялась в 2013–16 гг. в пределах  $600 \pm 30^\circ\text{C}$  (рис. 3, табл. 1, фумарола № 1). К востоку, в сторону кромки кратера, от этих двух наиболее доступных для работ фумарол располагалось еще несколько крупных газовых выходов с температурой более 500°C. Среди них — котлообразной формы до 5 м в диаметре и ~2 м глубиной на восточном краю поля, совпадающем с кромкой кратера. Вдоль всего северного края поля наблюдался повсеместный прогрев до 300–400°C и небольшие фумаролы с температурой 400–550°C.

**Низкотемпературные фумаролы.** Температура остальных фумарольных и термальных площадок, расположенных на гребне кратера и на его контакте с лавовой пробкой, не превышала 100°C (рис. 1). Фумарольное поле на северо-западном гребне кратера — самое большое по площади и количеству газовых выходов среди низкотемпературных полей — обследовалось несколько раз в год; температура фумарол колебалась в пределах 95–100°C; весь гребень был покрыт сплошной серной коркой<sup>5</sup>. В продолжении этого поля на внешнем склоне вниз

<sup>5</sup> Фумарольная активность в этом месте усилилась после извержения 1991 г. в результате смещения выходов фумарол «Уступ» и «Малая Серная», перекрытых лавой (Дрознин, Дубровская, 2006). В последнее время за этим фумарольным полем закрепилось название «Серный гребень», которое до извержения 1991 г. относилось к фумаролам в юго-западной части кратера.

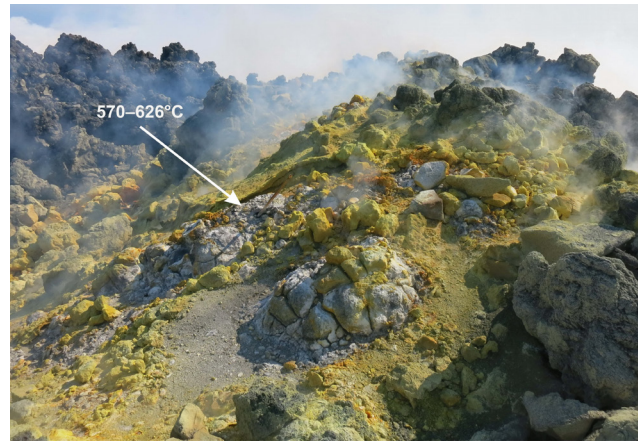


Рис. 5. Режимная фумарола № 1 Восточного поля, 16.09.2015 г. Фото Н.А. Малик.

на ~50 м по отмечались более слабые фумаролы и паровые струи (рис. 3).

Температура «Режимной» фумаролы в юго-западной части кратера (рис. 3), из которой в 1994–2005 гг. производился регулярный отбор газа, в 2013 г. не превышала 91°C. После заполнения кратера лавой (1991 г.) именно здесь отмечалась максимальная температура — 473°C в 1993–94 гг. (Taran et al., 1997), 500°C 4 октября 2001 г. за день до газо-пеплового выброса, после которого начала снижаться и в мае 2005 г. опустилась до 130°C (Ushakov et al., 2006).

На восточном склоне выделяются полосы прогретого грунта, протягивающиеся от кромки кратера вниз до высоты ~2650 м н.у.м. (рис. 3). Самая северная из них, радиальная, выраженная в рельефе небольшой ложбиной, отмечалась до 1991 г. (Дрознин, Дубровская, 2006). Остальные приурочены к краю лавового потока 1991 г. и трещинам 2001 г.

Таким образом, расположение основных термоявлений кратера вулкана Авачинский не изменилось по крайней мере с 2005 г. (Дрознин, Дубровская, 2006). Наиболее заметные процессы в последние годы происходят в западной части кратера. Стоит отметить, что в юго-западной части находился центр последнего извержения 1991 г. (Мелекесцев и др., 1994).

## СОСТАВ ГАЗОВ

Содержание в высокотемпературных фумарольных газах Авачинского вулкана таких компонентов как  $\text{CO}_2$ , S (сумма газов серы:  $\text{SO}_2 + \text{H}_2\text{S}$ ),  $\text{H}_2\text{O}$  (табл. 2), а также соотношения компонентов ( $\text{CO}_2/\text{S} \approx 0.8\text{--}3.5$ ,  $\text{H}_2\text{O}/\text{S} \approx 67$ ,  $\text{H}_2\text{O}/\text{CO}_2 \approx 37$ ,  $\text{HCl}/\text{HF} \approx 13$ ;  $\text{CO}_2/\text{N}_2 \approx 50\text{--}148$ ) близки к средним значениям для высокотемпературных газов вулканов зон субдукции (Gerlach, 2004; Shinohara, 2013; Taran, Zelenski, 2014) и для высокотемпературных газов других вулканов Камчатки — Горелого (Aiuppa et al., 2012), Толбачика (Zelenski et al.,

2014), Активной воронки Мутновского вулкана (Зеленский и др., 2012) (рис. 6). Содержание галогеноводородов (HCl, HF) и соответственно отношения (HCl/S, HF/S) в ~5 раз ниже средних значений для газов вулканов зон субдукции, что характерно также для вулканов Кизимен (Малик, 2016) и Мутновский (Зеленский и др., 2012) на Камчатке.

Равновесная температура газа, рассчитанная по геотермометру Гиггенбаха (Giggenbach, 1987):

$$\log \left[ \frac{[SO_2][H_2]^3}{[H_2S][H_2O]^2} \right] = 3.66 - \frac{10744}{K},$$

(где K — абсолютная температура) составила 630–720°C и оказалась близкой к температуре отбора.

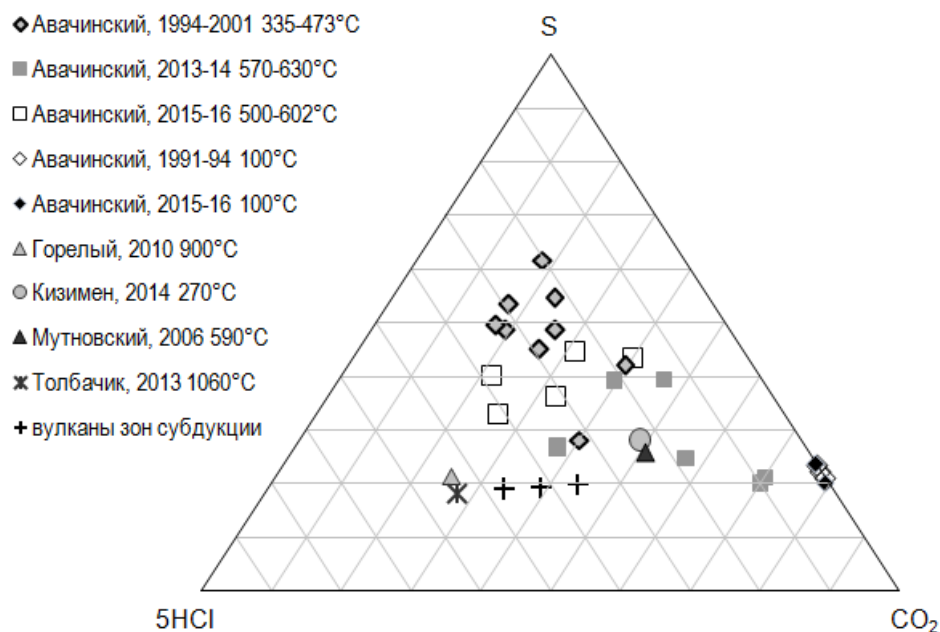
Газы, отобранные в 2013–16 гг. из фумаролы № 1 Восточного поля, отличаются от газов, отобранных из «Режимной» фумаролы в 1994–2001 гг. большими содержаниями H<sub>2</sub> и CO, что обусловлено более высокой температурой. Интересно отметить, что в составе газа, отобранного накануне активизации 2001 г., были установлены наибольшие для 1994–2016 гг. значения SO<sub>2</sub>, HCl и самая высокая для 1994–2001 гг. концентрация CO<sub>2</sub>, при этом отношение S/HCl (обычно используемое для мониторинга вулканической активности) значительно не изменилось (табл. 2).

В течение 2013–16 гг. в пробах высокотемпературного газа вулкана Авачинского увеличилось содержание воды на 8 мол.% и метана более

чем в 10 раз, уменьшилось — CO<sub>2</sub> и CO в 5–10 раз, причем основные изменения произошли в 2013–14 гг. Остальные компоненты менялись менее заметно и направлено. Отмечена прямая зависимость концентрации компонентов: H<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, CO от температуры фумаролы, и обратная — для H<sub>2</sub>O (табл. 2, рис. 7). Также, отношения H<sub>2</sub>O/S и H<sub>2</sub>O/CO<sub>2</sub> многократно менялись обратно температуре с тенденцией к увеличению; S/HCl — варьировало в зависимости от температуры (R<sup>2</sup> = 0.7) с тенденцией к понижению с 10–14 до 4–6, CO<sub>2</sub>/S — уменьшилось с 3.5 до 0.8–0.5. Другие соотношения вулканических газов менялись без явных тенденций и вне какой-либо зависимости.

**Состав низкотемпературных газов** северо-западного гребня кратера в 2015 и 2016 гг. (табл. 3) закономерно отличается от состава высокотемпературных (табл. 2) значительно меньшим содержанием SO<sub>2</sub>, HCl и HF, CO и H<sub>2</sub>, а также — более высокими количествами CH<sub>4</sub>, низким отношением SO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>S, а по сравнению с газами, отобранными в этом же месте в 1991–94 гг. (Taran et al., 1997) — меньшим содержанием CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, HF, немного большим H<sub>2</sub>. Очень низкое содержание HCl (рис. 6) может говорить о происхождении этих газов из конденсированных магматических газов (Taran et al., 1997).

Тройная диаграмма N<sub>2</sub> – Ar – CH<sub>4</sub> (рис. 8), дающая представление о вкладе в состав фумарольных газов магматической (N<sub>2</sub>), гидротермальной (CH<sub>4</sub>) и метеорной (Ar) составляющей,



**Рис. 6.** Относительное содержание компонентов (S = SO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>S, CO<sub>2</sub> и HCl) в газах Авачинского и других вулканов, после их названия указаны годы и температура отбора. Данные для вулканов Авачинский 1991–1999 гг. — из работ (Серафимова и др., 2002; Taran et al., 1997), Горелый (Aisupra et al., 2012), Мутновский (Зеленский и др., 2012), Толбачик (Zelenski et al., 2014), средних составов газов вулканов зон субдукции (Gerlach, 2004; Shinohara, 2013; Taran, Zelenski, 2014).



ТЕМПЕРАТУРА И СОСТАВ ГАЗА

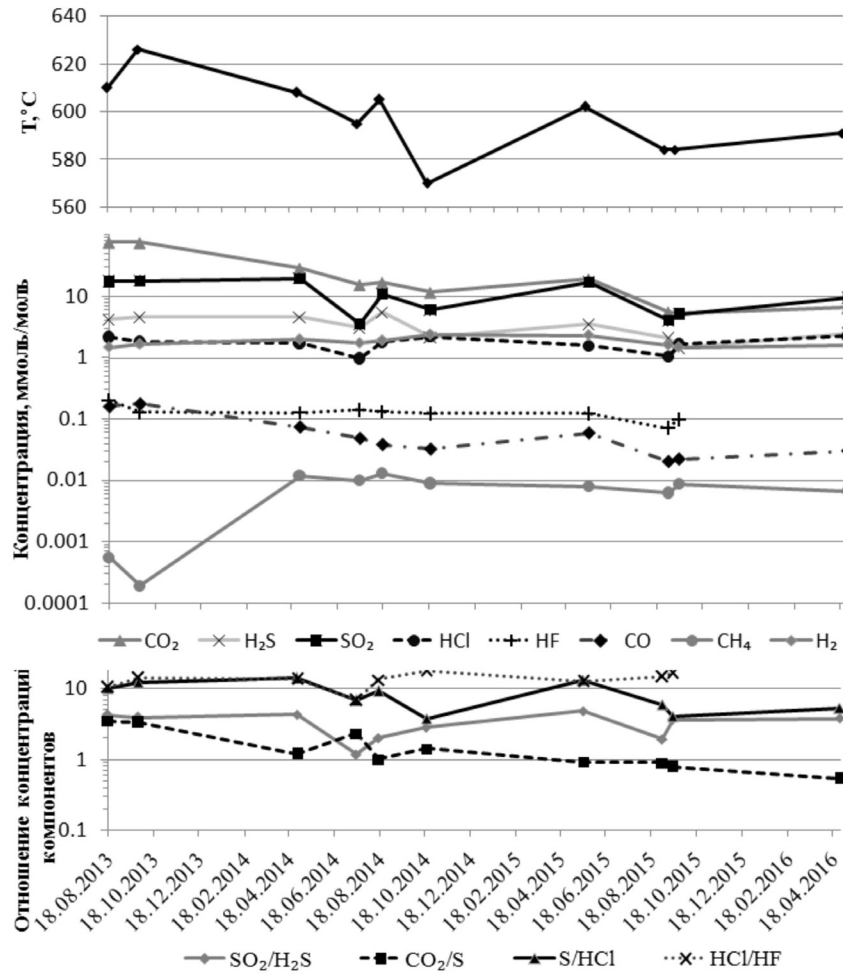


Рис. 7. Временные изменения температуры, основных компонентов газа и их отношений высокотемпературной фумаролы вулкана Авачинский.

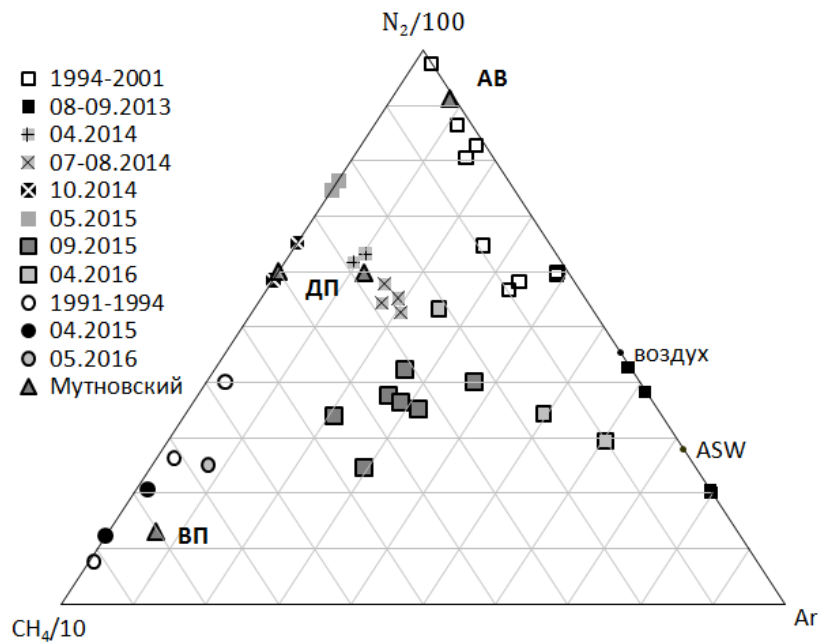


Рис. 8. Классификация фумарольных газов на диаграмме  $N_2 - Ar - CH_4$ . Квадраты — высокотемпературные, круги — низкотемпературные газы вулкана Авачинский, указаны год и месяц отбора. Концентрации  $N_2$  и  $Ar$  скорректированы с учетом загрязнения воздухом. ASW — Air Saturated Water, метеорная вода, насыщенная воздухом. АВ — Активная воронка, ДП — Донное поле, ВП — Верхнее поле Мутновского вулкана (Зеленский и др., 2012). Положение точек для 2013 г., вероятно, можно объяснить особенностями анализа.

разделяет высокотемпературные и низкотемпературные газы. Видно, что состав низкотемпературных газов мало изменился с 1991 г., в отличие от высокотемпературных, область значений которых сместилась в сторону гидротермальной составляющей. Для сравнения на график нанесены точки для трех fumarольных полей Мутновского вулкана (Зеленский и др., 2012).

**Изотопные составы воды ( $\delta D - \delta^{18}O$ )** в конденсатах Авачинского вулкана в августе-сентябре 2013 г. и в мае 2015 г. (рис. 9) практически совпадают с областью «андезитовых» вод (Таран и др., 1989). Видно, что изотопные составы воды газов наиболее высокотемпературных fumarол практически не менялись, по крайней мере, с 1994 г. Это означает, что примесь метеорного или гидротермального компонентов в fumarольных газах весьма мала, то есть высокотемпературные fumarолы вулкана Авачинский представляли собой выходы «чисто магматического» газа. Однако фракция магматических газов с 2013 по 2014 гг. снизилась с ~100% до ~76%, затем в мае 2015 г. повысилась до ~95%, а в сентябре опять понизилась до 50–65%. При этом наблюдается корреляция между изотопным составом воды газа и его температурой ( $R^2 \sim 0.75$ ), а также содержанием в нем хлороводорода ( $R^2 = 0.55$ ), одним из возможных объяснений чего может стать приток метеорных вод после многоснежных зим через все более растрескивающуюся лавовую «пробку».

**Микроэлементы в fumarольных газах.** Содержание микроэлементов в конденсатах газа составило

в среднем 120–170 ppm (до 300 ppm, если брать максимальные значения), что, например, в три раза ниже чем в газах вулкана Толбачик в 2012–13 гг. (Zelenski et al., 2014). Из них В и Si составляют около 65%, а вместе с Na, K, Ca, Al, Br, Fe, As и Mg — 98% общей концентрации микроэлементов в газе. Газы содержат измеримые количества Tl (49 ppb), Au (6 ppb), Ag (5.7 ppb), Re (4 ppb) и Pt (1.2 ppb).

**Разгрузка вулканических газов на вулкане Авачинский.** По данным дистанционных измерений DOAS (спектрометров, работающих по принципу дифференциальной оптической абсорбции в ультрафиолетовом диапазоне) эмиссия  $SO_2$  на вулкане Авачинский составляла 200 т/сутки<sup>6</sup>. На основе отношений  $X/SO_2$  в высокотемпературных газах (табл. 2) нами был посчитан расход всех остальных летучих. Всего в сутки в атмосферу выносится более 5.5 тыс. т летучих соединений, в том числе:  $H_2O$  — 5060,  $CO_2$  — 310,  $SO_2$  — 200,  $H_2S$  — 32,  $HCl$  — 18,  $N_2$  — 2.3,  $H_2$  — 1,  $HF$  — 0.7,  $CO$  — 0.5 тыс. т. Это попадает в диапазон разгрузки газов других вулканов Камчатки и Курильских островов (Мельников, Ушаков, 2013<sup>6</sup>; Shinohara, 2013).

## ВЫВОДЫ

В 2014–15 гг. отмечено повышение температуры Западной fumarолы Авачинского вулкана

<sup>6</sup>[http://www.emsd.ru/conf2013lib/rpdf/1monitoring/Melnikov\\_Ushakov.pdf](http://www.emsd.ru/conf2013lib/rpdf/1monitoring/Melnikov_Ushakov.pdf)

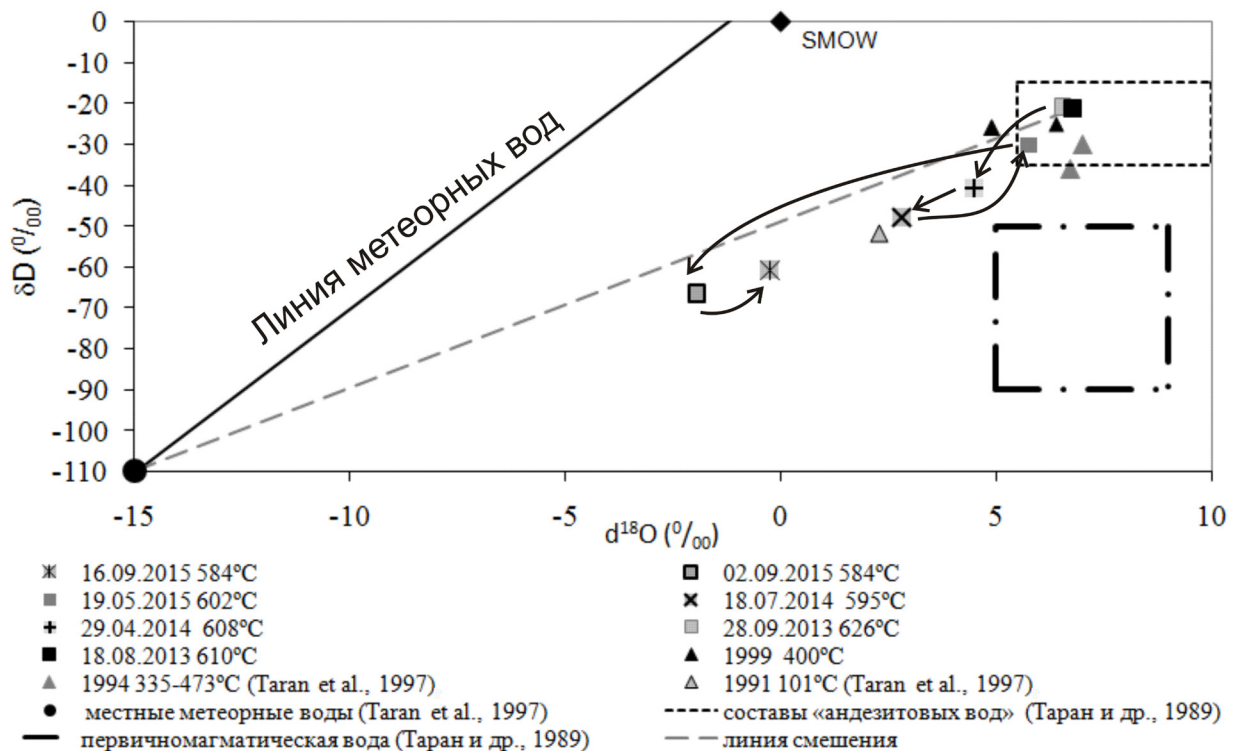


Рис. 9. Изотопный состав воды fumarольных газов вулкана Авачинский. SMOW — Standard Mean Ocean Water.

с 555 до 693°C, измеренной пирометром при сходных условиях. При этом произошли значительные изменения морфологии газового выхода. В мае 2016 г. впервые за последние годы удалось измерить температуру Западной фумаролы термомпарой, которая составила 777°C, а 22 августа — 818°C, что является максимальной температурой фумарольных газов за всю историю наблюдений за вулканом Авачинский.

В 2013 г. в восточной части кратера впервые были исследованы фумаролы с температурой 600–660°C (Восточное поле). В течение 2013–16 гг. температура двух наблюдаемых выходов Восточного поля менялась не более чем на  $\pm 30^\circ\text{C}$ .

Составы газа высокотемпературной фумаролы Восточного поля соответствуют средним составам вулканических газов островных дуг. Температура и составы газов свидетельствуют о близости дегазирующего магматического тела. Изотопные составы воды ( $\delta\text{D} - \delta^{18}\text{O}$ ) конденсатов газа, отбираемого из одной фумаролы с температурой 570–630°C на Восточном поле в 2013–16 гг., дважды «сдвигались» из области «андезитовых» вод в сторону местных метеорных, то есть доля магматических газов снижалась с ~100 до ~76% и затем с 95 до 60%. Предположительно сдвиги связаны с притоком метеорных вод через трещины в лавовой «пробке». Изменения изотопного состава воды газа коррелируют с температурой фумаролы. Состав газа за этот период менялся незначительно, так же, в основном, взаимосвязано с температурой газа; отмечены увеличение содержания воды, метана, отношений  $\text{H}_2\text{O}/\text{S}$  и  $\text{H}_2\text{O}/\text{CO}_2$ ; уменьшение  $\text{CO}_2$  и  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2/\text{S}$  и  $\text{S}/\text{HCl}$ , произошедшие в основном в 2013–14 гг.

Таким образом, несмотря на повышение температуры Западной фумаролы, в динамике температуры и составе газов Восточного поля за 3-х летний период не выявлено существенных изменений; наиболее активные процессы в последние годы происходят в западной части кратера вулкана.

Концентрация микроэлементов в конденсатах фумарольных газов находилась в пределах 120–300 ppm.

Вулканом Авачинский в сутки в атмосферу выносятся более 5.5 тыс. т летучих соединений, в том числе:  $\text{H}_2\text{O}$  — 5060,  $\text{CO}_2$  — 310,  $\text{SO}_2$  — 200,  $\text{H}_2\text{S}$  — 32,  $\text{HCl}$  — 18,  $\text{N}_2$  — 2.3,  $\text{H}_2$  — 1,  $\text{HF}$  — 0.7,  $\text{CO}$  — 0.5 тыс. т.

Авторы выражают благодарность сотрудникам ИВиС ДВО РАН Я.Д. Муравьеву, А.А. Платонову, Л.Н. Гарцевой, М.А. Назаровой, В.И. Гусевой, В.Н. Двигало, В.А. Дрознину, А.А. Овсянникову, Геофизической службы РАН В.В. Яшуку, АСИЦ ИПТМ РАН В.В. Карандашеву, Природного парка «Вулканы Камчатки» А.Н. Биченко за помощь в проведении работ на

вулкане Авачинский, выполнение химических анализов и предоставленную информацию. Работа выполнена при частичной поддержке гранта ДВО РАН №15-1-2-093.

#### Список литературы

- Горельчик В.И., Башарина Л.А., Дмитриев Л.Б.* Режимные наблюдения на Авачинском вулкане в 1970 г. // Бюллетень вулканологических станций. 1972. № 48. С. 21–28.
- Дрознин В.А., Дубровская И.К.* Фумарольная активность вулкана Авачинский в 2004–2005 гг. (дистанционные измерения) // Проблемы эксплозивного вулканизма (к 50-летию катастрофического извержения вулкана Безымянный). Материалы первого международного симпозиума. 25–30 марта 2006 г. // Отв. редактор чл.-корр. РАН Е.И. Гордеев. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2006. С. 120–126.
- Дрознин В.А., Муравьев Я.Д.* Энергетический и экологический аспекты извержения вулкана Авачинский на Камчатке (январь 1991 г.) // Вулканология и сейсмология. 1994. № 3. С. 3–19.
- Зеленский М.Е., Таран Ю.А., Дубинина Е.О. и др.* Источники летучих компонентов для вулкана зоны субдукции: Мутновский вулкан, Камчатка // Геохимия. 2012. № 6. С. 555–575.
- Зубин М.И., Федоров М.В., Чирков А.М., Штейнберг Г.С.* Кратер вулкана Авача и его состояние летом 1961 г. // Бюллетень вулканологических станций. 1964. № 36. С. 24–36.
- Иванов Б.В., Флеров Г.Б., Масуренков Ю.П. и др.* Динамика и состав продуктов извержения Авачинского вулкана в 1991 г. // Вулканология и сейсмология. 1995. № 4–5. С. 5–27.
- Кирсанов И.Т., Медведева Г.Г., Серафимова Е.К.* Фумарольная деятельность Авачинского и Корякского вулканов // Бюллетень вулканологических станций. 1964. № 38. С. 3–32.
- Малик Н.А.* Извержение вулкана Кизимен 2010–2013 гг.: результаты исследования водных вытяжек из пеплов, природных вод и постэруптивных газов // Материалы региональной научной конференции «Вулканизм и связанные с ним процессы», посвященной Дню вулканолога, 30 марта – 1 апреля 2015 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2016. С. 84–91.
- Малик Н.А., Зеленский М.Е.* О температуре и составе газа фумарол вулкана Авачинский в 2012–2013 г. // Материалы региональной научной конференции «Вулканизм и связанные с ним процессы», посвященной Дню вулканолога, 27–28 марта 2014 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2014. С. 94–97.

- Мелекесцев И.В., Брайцева О.А., Двигало В.Н., Базанова Л.И.* Исторические извержения Авачинского вулкана на Камчатке (попытка современной интерпретации и классификации для долгосрочного прогноза типа и параметров будущих извержений). Ч. II (1926–1991 гг.) // Вулканология и сейсмология. 1994. № 2. С. 3–23.
- Мелекесцев И.В., Селиверстов Н.И., Сеньюков С.Л.* Информационное сообщение об активизации в октябре 2001 г. вулкана Авачинский на Камчатке и проведенных исследованиях // Вулканология и сейсмология. 2002. № 2. С. 79–80.
- Меняйлов И.А.* Зависимость состава вулканических газов от состояния вулканической активности и геохимический прогноз извержения // Бюллетень вулканологических станций. 1976. № 52. С. 42–48.
- Никитина Л.П., Меняйлов И.А., Шапарь В.Н.* Модифицированные методы отбора и анализа вулканических газов // Вулканология и сейсмология. 1989. № 4. С. 3–15.
- Округин В.М., Малик Н.А., Москалева С.В. и др.* Новые данные о минералах в продуктах фумарольной деятельности Авачинского вулкана (2013–2014 гг.) // Материалы региональной научной конференции «Вулканизм и связанные с ним процессы», посвященной Дню вулканолога, 30–31 марта 2015 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2016. С. 253–260.
- Округин В.М., Малик Н.А., Плутахина Е.Ю. и др.* Новые данные о возгонах и сублиматах Авачинского вулкана (2014–2015 гг.) // Материалы региональной научной конференции «Вулканизм и связанные с ним процессы», посвященной Дню вулканолога, 29–30 марта 2016 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2016. С. 400–405.
- Плутахина Е.Ю., Малик Н.А.* Новые данные о фумарольной сере Авачинского вулкана // Материалы XIII региональной молодежной научной конференции «Природная среда Камчатки». 15 апреля 2014 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН. 2014. С. 31–40.
- Плутахина Е.Ю., Малик Н.А.* Хлор и его соединения в продуктах фумарольной деятельности Авачинского вулкана (2013–14 гг.) // Материалы XIV региональной молодежной научной конференции «Природная среда Камчатки». 14 апреля 2015 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН. 2015. С. 51–60.
- Серафимова Е.К., Овсянников А.А., Муравьев Я.Д.* Вулканические эксгаляции вулкана Авачинский в постэруптивном процессе после извержения в 1991 г. // Вулканология и сейсмология. 2002. № 4. С. 22–30.
- Таран Ю.А., Покровский Б.Г., Дубик Ю.М.* Изотопный состав и происхождение воды в андезитовых магмах // ДАН. 1989. Т. 304. С. 440–443.
- Федотов С.А., Балеста С.Т., Дроздин В.А. и др.* О возможности использования тепла магматического очага Авачинского вулкана // Бюллетень вулканологических станций. 1977. № 53. С. 27–37.
- Aiuppa A., Giudice G., Liuzzo M., et al.* First volatile inventory for Gorely volcano, Kamchatka // Geophysical Research Letters. 2012. V. 39. № 6. DOI: 10.1029/2012GL051177.
- Gerlach T. M.* Volcanic sources of tropospheric ozone-depleting trace gases // Geochemistry Geophysics Geosystems. 2004. V. 5. № 9. P. 1–16. doi:10.1029/2004GC000747.
- Giggenbach W.F.* A simple method for the collection and analysis of volcanic gas samples // Bulletin of Volcanology. 1975. V. 39. № 1. P. 132–145.
- Giggenbach W.F.* Redox processes governing the chemistry of fumarolic gas discharges from White Island, New Zealand // Applied Geochemistry. 1987. V. 2. № 2. P. 143–161.
- Shinohara H.* Volatile flux from subduction zone volcanoes: Insights from a detailed evaluation of the fluxes from volcanoes in Japan // Journal of Volcanology and Geothermal Research. 2013. V. 268. P. 46–63. doi:10.1016/j.jvolgeores.2013.10.007.
- Taran Y., Zelenski M.* Systematics of the water isotopic composition and chlorine content in arc-volcanic gases. In: Zellmer, G.F., Edmonds, M., Straub, S.M. (Eds.), The Role of Volatiles in the Genesis, Evolution and Eruption of Arc Magmas. Geological Society. London. Special Publications. 2014. 410. <http://dx.doi.org/10.1144/SP410.5>.
- Taran Y.A., Cornor C.B., Shapar V.N. et al.* Fumarolic activity of Avachinsky and Koryaksky volcanoes, Kamchatka, from 1993 to 1994 // Bulletin of Volcanology. 1997. V. 58. № 8. P. 441–448.
- Ushakov S.V., Muravyev Ya.D., Ovsyannikov A.A. et al.* Gas monitoring in 1994–2005 and recent activity at Avachinsky volcano // Proceedings of the 5th Biennial Workshop on Japan-Kamchatka-Alaska Subduction Processes (JKASP-2006). Hokkaido University International Congress Hall, Sapporo, Hokkaido, Japan, July 9–21, 2006. P. 167–169.
- Zelenski M., Malk N., Taran Yu.* Emissions of trace elements during the 2012–2013 effusive eruption of Tolbachik volcano, Kamchatka: enrichment factors, partition coefficients and aerosol contribution // Journal of Volcanology and Geothermal Research. 2014. V. 285. P. 136–149.

ТЕМПЕРАТУРА И СОСТАВ ГАЗА  
**TEMPERATURE AND GAS COMPOSITION OF THE AVACHINSKY  
VOLCANO FUMARoles (KAMCHATKA) IN 2013–2016**

**N.A. Malik<sup>1</sup>, M.E. Zelenski<sup>2</sup>, V.M. Okrugin<sup>1</sup>**

*<sup>1</sup>Institute of Volcanology and Seismology FEB RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky;  
e-mail: maliknataliya@mail.ru*

*<sup>2</sup>Institute of Experimental Mineralogy RAS, Chernogolovka, Moscow Region*

The article presents data on Avachinsky Volcano fumaroles' temperature and gas composition obtained during the 2013-2016 observations and shows temperature dynamics over this period of the high-temperature Western fumarole and Eastern fumarolic field assigned to the fissure appeared in lava «plug» as a result of the weak explosive eruption in autumn 2001. Temperature of 818°C was registered in the Western fumarole to be the highest ever measured at Avachinsky Volcano. Gas composition of the monitored fumarole on Eastern field and its variation in time were studied. We compared the obtained data with the previous data on gas observations from Avachinsky Volcano and other active volcanoes in Kamchatka and the data on the average values from the volcanoes of the subduction zones.

*Keywords: Avachinsky Volcano, fumarole, volcanic gas, temperature, gas composition.*